

U.S. PATENT APPLICATION

Inventor(s): Akio IWASE
Tetuji ITOU
Toshio OOSHIMA
Shige KADOTANI

Invention: LAMINATED PIEZOELECTRIC ELEMENT AND METHOD FOR
PRODUCING THE SAME

***NIXON & VANDERHYE P.C.
ATTORNEYS AT LAW
1100 NORTH GLEBE ROAD, 8TH FLOOR
ARLINGTON, VIRGINIA 22201-4714
(703) 816-4000
Facsimile (703) 816-4100***

SPECIFICATION

明 細 書

積層型圧電素子及びその製造方法

技術分野

本発明は、セラミック層と内部電極層とを交互に積層してなるセラミック積層体に外部電極を形成した積層型圧電素子及びその製造方法に関する。

背景技術

積層型圧電素子としては、内部電極層とセラミック層とを交互に多数枚積層したセラミック積層体に、導電性接着剤や焼付け電極等の導電部を介して、一対の外部電極を接合したものがある。

例えば、全面電極構造のセラミック積層体は、積層面全面に導電ペーストを印刷したグリーンシート片を積み重ねた積層体である。このような全面電極構造のセラミック積層体では、内部電極層が外周全周に渡って露出している。

そこで、この全面電極構造のセラミック積層体では、周方向2カ所の外周側面において、1層おきの内部電極層を被覆する絶縁部を配置する場合がある。そして、1層おきの内部電極層と電氣的に接続される外部電極を容易に接合できる接合面を形成する。

そして、この接合面における絶縁部を形成してない内部電極層には、導電性樹脂等からなる導電部を介して外部電極を接合する。

しかしながら、上記セラミック積層体においては、次のような問題がある。すなわち、上記接合面における1層おきの内部電極層を被覆する絶縁部や、外部電極を接続するための導電部の耐久性が十分でないという問題がある。

特に、上記積層型圧電素子が動作し伸縮を繰り返すと、上記絶縁部及び上記導電部に繰り返し応力が発生する。それ故、長期間の使用において、上記接合面に接合した絶縁部や導電部が剥離等するおそれがある。

絶縁部が剥離すると、積層型圧電素子内部における絶縁が不十分となり電氣的リークを生じるおそれがある。また、導電部が剥離すると、一部の内部電極層へ

の通電が遮断されて積層型圧電素子の正常動作が阻害される。

特に、高温、高振動など過酷な環境で使用する自動車エンジンの燃料噴射インジェクタ等に適用する積層型圧電素子では、絶縁不良等のトラブルを生じるおそれが高い。すなわち、150℃～200℃程度の高温下、高荷重伸縮を繰り返すうち、例えば、エポキシ系、シリコン樹脂等よりなる絶縁材料の高温劣化や疲労劣化が加速され、上記絶縁部の亀裂や剥離等を生じるおそれが高い。

発明の明示

本発明は、かかる従来の問題点に鑑みてなされたもので、電気的信頼性が高く、耐久性が高い積層型圧電素子及びその製造方法を提供しようとするものである。

第1の態様の発明は、セラミック層と内部電極層とを交互に積層してなるセラミック積層体と、該セラミック積層体の外周面に形成した一対の接合面それぞれに接合した一対の外部電極とを有する積層型圧電素子において、

上記セラミック積層体の外周面のうち少なくとも上記接合面には、少なくとも一部の上記内部電極層の外周端部に接する外周溝状部を形成してあり、

該外周溝状部は、上記セラミック積層体の外周面から内方へ凹む少なくとも1つ以上の窪み部を有し、該窪み部自体の形状又は複数の上記窪み部を連ねた形状が帯状を呈していると共に、該窪み部の内部において周囲から相対的に突出する少なくとも1カ所以上の凸部又は、隣り合う上記窪み部の間に隣接して配置されて該窪み部から相対的に突出する凸部を有しており、

上記外周溝状部には、絶縁材料からなる絶縁部又は導電材料よりなる導電部の少なくともいずれか一方を、上記窪み部を埋めて上記凸部を被うように形成してある積層型圧電素子にある。

上記第1の態様の発明による積層型圧電素子では、少なくとも上記接合面において、1層おきの上記内部電極層の外周端部に接するように上記外周溝状部を形成してある。そして、この外周溝状部には、上記絶縁部又は導電部を形成してある。

すなわち、上記絶縁部又は上記導電部（以下、適宜絶縁部等と記載する）のう

ち、上記窪み部内に形成された部分は、セラミック積層体の外周面から内方にくさび状に食い込むように形成されている。そのため、絶縁部等は、くさび効果によりセラミック積層体に強固に固定される。

また、この外周溝状部は、周囲から相対的に突出する上記凸部を有している。

そのため、上記外周溝状部に形成した上記絶縁部等に対して、上記凸部はくさび状に食い込むような状態となる。そして、凸部が奏するくさび効果（アンカー効果）により、上記絶縁部等は一層強固に上記外周溝状部に接合され、剥離等を生じるおそれが少ない。

また、上記凸部を有し、表面が凸凹状を呈する上記外周溝状部に形成された絶縁部等は、上記外周溝状部との接触面が凸凹状に屈曲する。そのため、上記積層型圧電素子の動作に伴って絶縁部等が生じる応力は、その凸凹状の表面に沿って分散される。それ故、応力集中による絶縁部等の亀裂等が生じるおそれが少ない。

このように、上記第1の態様の発明におけるセラミック積層体の外周溝状部によれば、長期間の使用に渡って、上記絶縁部及び上記導電部が剥離等するおそれが少ない。そして、このセラミック積層体からなる積層型圧電素子にあっては、電氣的信頼性が高く、耐久性が高い。

なお、絶縁部を形成する上記絶縁材料としては、樹脂、ガラス、セラミック等を適用することができる。

また、導電部を形成する上記導電材料としては、Pb, Ag-Pb, Cu等を適用することができる。

第2の態様の発明は、セラミック層と内部電極層とを交互に積層してなるセラミック積層体と、該セラミック積層体の外周面に形成した一対の接合面それぞれに接合した一対の外部電極とを有する積層型圧電素子の製造方法において、

上記セラミック積層体を形成する積層体形成工程と、

該セラミック積層体の外周面のうち少なくとも上記接合面にレーザビームを照射することにより、少なくとも一部の上記内部電極層の外周端部に接する窪み部を穿設して、該窪み部自体の形状又は複数の上記窪み部を連ねた形状が帯状を呈する外周溝状部を形成する溝形成工程と、

上記外周溝状部には、絶縁材料からなる絶縁部又は導電材料よりなる導電部の少なくともいずれか一方を形成する埋設工程とを有する積層型圧電素子の製造方法にある。

上記第2の態様の発明による積層型圧電素子の製造方法によれば、上記溝形成工程において、上記セラミック積層体の外周面に上記外周溝状部を精度良く形成することができる。また、レーザ加工により上記窪み部を穿設すれば、セラミック積層体への加工ストレスが小さく、クラック等のトラブルを生じるおそれが少ない。

さらに、レーザ加工によれば、自由度高く上記外周溝状部の上記窪み部を加工することができる。

以下、添付図面と本発明の好適な実施形態の記載から、本発明を一層十分に理解できるであろう。

図面の簡単な説明

図1は実施例1における、印刷工程を示す説明図である。

図2は実施例1における、打抜き積層装置を示す説明図である。

図3は実施例1における、中間体の積層構造を示す説明図である。

図4は実施例1における、中間体の断面構造を示す断面図である。

図5は実施例1における、レーザ加工を施す前のセラミック積層体を示す斜視図である。

図6は実施例1における、レーザ加工機を示す説明図である。

図7は実施例1における、セラミック積層体の断面構造を示す断面図である。

図8は実施例1における、導電部を形成したセラミック積層体の断面構造を示す断面図である。

図9は実施例1における、積層型圧電素子の断面構造を示す断面図である。

図10は実施例1における、積層型圧電素子の内部電極層に沿う断面構造を示す断面図である。

図11は実施例1における、その他の積層型圧電素子の内部電極層に沿う断面構造を示す断面図である。

図12は実施例1における、その他の積層型圧電素子の内部電極層に沿う断面構造を示す断面図である。

図13は実施例1における、その他のセラミック積層体を示す斜視図である。

図14は実施例2における、セラミック積層体の断面構造を示す断面図である。

図15は実施例2における、積層型圧電素子の断面構造を示す断面図である。

図16は実施例2における、積層型圧電素子の内部電極層に沿う断面構造を示す断面図である。

図17は実施例2における、その他の積層型圧電素子の内部電極層に沿う断面構造を示す断面図である。

図18は実施例3における、セラミック積層体の断面構造を示す断面図である。

図19は実施例3における、導電部を接合したセラミック積層体の断面構造を示す断面図である。

図20は実施例3における、積層型圧電素子の断面構造を示す断面図である。

図21は実施例3における、導電部を接合したその他のセラミック積層体の断面構造を示す断面図である。

図22は実施例3における、その他の積層型圧電素子の断面構造を示す断面図である。

図23は実施例4における、セラミック積層体の断面構造を示す断面図である。

図24は実施例4における、セラミック積層体の窪み部の断面構造を拡大して示す拡大図（図23におけるA部分を拡大した図）である。

図25は実施例4における、導電部を形成したセラミック積層体の断面構造を示す断面図である。

図26は実施例4における、積層型圧電素子の断面構造を示す断面図である。

発明を実施するための最良の形態

上記第1の態様の発明の積層型圧電素子においては、上記外周溝状部は、上記各接合面の1層おきの上記内部電極層の上記外周端部に接するよう形成してあり

一方の上記接合面において上記外周溝状部を形成した上記内部電極層には、他

方の上記接合面において上記外周溝状部を形成せず、かつ、一方の上記接合面において上記外周溝状部を形成してない上記内部電極層には、他方の上記接合面において上記外周溝状部を形成してあり、

該外周溝状部には、上記絶縁部を形成してあることが好ましい。

この場合には、上記接合面における1層おきの内部電極層の外周端部に接するように形成した上記外周溝状部に対して、強固に上記絶縁部を形成することができる。

そして、1層おきに内部電極層が露出する接合面に対しては、外部電極の接合が容易であり、電氣的なリークを生じるおそれも少ない。また、長期間の使用に渡って、上記絶縁部は優れた絶縁性を発揮し得る。

また、上記外周溝状部は、上記接合面の全ての上記内部電極層の上記外周端部に接するよう形成してあり、

上記各接合面に形成された上記外周溝状部には、上記絶縁部と上記導電部とを1層ごとに交互に形成してあると共に、

一方の上記接合面において上記絶縁部に接する上記内部電極層は、他方の接合面において上記導電部に接しており、かつ、一方の接合面において上記導電部に接する上記内部電極層は、他方の接合面において上記絶縁部に接していることが好ましい。

この場合には、上記接合面の上記外周溝状部に対して、上記導電部及び上記絶縁部を強固に接合することができる。それ故、この積層型圧電素子は、全てのセラミック層に対して安定的に電圧を印加できると共に、電氣的なリークを生じるおそれが少ない電氣的な信頼性の高い素子となる。

また、上記セラミック積層体の上記接合面を除く外周面には、その全面に渡って、全ての上記内部電極層の上記外周端部に接する上記外周溝状部を形成してあり、

該外周溝状部には、上記絶縁部を形成してあることが好ましい。

この場合には、上記接合面の内部電極層の外周端部に接するよう形成した外周溝状部の作用効果に加えて、上記セラミック積層体における接合面以外の外周面における絶縁性を向上できる。それ故、この積層型圧電素子にあっては、セラミ

ック積層体の外周面全面に渡って電氣的なリークを生じるおそれをさらに抑制できる。

また、上記窪み部は、深くなるにつれて縮径するすり鉢状の加工穴を複数穿設すると共に、隣り合う上記加工穴の周縁部を重合させて形成したものであり、隣り合う上記加工穴の間に相対的に突出する上記凸部が形成されていることが好ましい。

この場合には、上記内部電極層に沿って穿設された複数の上記加工穴が単一の上記窪み部を形成する。そして、この窪み部からなる上記外周溝状部においては、隣接する加工穴の間に相対的に突出する上記凸部を容易に形成することができる。

また、上記窪み部は、深くなるにつれて縮径するすり鉢状を呈していると共に、帯状に並ぶ離散的な位置に複数形成されており、独立して配置されて隣り合う上記窪み部の間には相対的に突出する上記凸部が形成されていることが好ましい。

この場合には、上記外周溝状部全面に渡って、上記窪み部を形成する必要がない。それ故、レーザービームによる加工量を少なく、効率良く上記外周溝状部を形成することができる。

また、上記窪み部の底面においては、上記内部電極層の外周端部が外方に向けて突出していることが好ましい。

この場合には、上記窪み部を埋める上記導電部又は上記絶縁部に対して、上記内部電極層の外周端部がくさび状に食い込むことになる。それ故、上記内部電極層の外周端部が奏するくさび効果（アンカー効果）により、上記窪み部を埋める上記導電部又は上記絶縁部を強固に保持できる。

また、上記内部電極層の外周端部の突出量は、上記内部電極層の厚さ以上であることが好ましい。

この場合には、上記窪み部を埋める上記導電部又は上記絶縁部に対して、上記内部電極層の外周端部が奏するくさび効果（アンカー効果）を向上でき、上記導電部又は上記絶縁部を一層、強固に保持できる。

なお、上記突出量の上限值は、上記窪み部の深さとするのが好ましい。

この場合には、上記セラミック層の外周側の端部と、上記内部電極層の外周端部とが略均一面を形成するように上記セラミック層と上記内部電極層とを積層することができる。そしてその後、上記内部電極層の外周端部を避けて上記窪み部を形成すれば、上記突出量の上限值を効率良く得ることができる。

上記第2の態様の発明の積層型圧電素子の製造方法においては、上記溝形成工程では、上記レーザビームの照射状態を調節することにより、上記窪み部の内部において周囲から相対的に突出する少なくとも1カ所以上の凸部又は、隣り合う上記窪み部の間において配置されて該窪み部から相対的に突出する少なくとも1カ所以上の凸部を有する上記外周溝状部を形成し、

上記埋設工程では、絶縁材料からなる絶縁部又は導電材料よりなる導電部の少なくともいずれか一方を上記外周溝状部に形成することにより、上記窪み部を埋め、上記凸部を被覆することが好ましい。

この場合には、加工自由度が高いレーザ加工により、上記外周溝状部を効率良く形成することができる。すなわち、レーザビームによれば、凸部を含む外周溝状部の形成が容易である。

また、上記溝形成工程では、上記セラミック積層体の外周面に法線方向に突出する上記凸部の形成予定位置に隣接する位置に照射する照射エネルギーに対して、該凸部の形成予定位置に照射する照射エネルギーを小さくするようレーザビームを照射することが好ましい。

ここで、上記照射エネルギーとは、単位時間当たりのレーザビームの出力（W）と、照射時間（s）との積算値（W・s）として表現される数値である。

上記凸部の形成予定位置に照射する照射エネルギーと、該凸部の隣接位置に照射する照射エネルギーとを変更する上記のレーザビームの照射方法によれば、上記セラミック積層体の外周面の法線方向に突出する凸部を簡単に形成することができる。

この方法では、上記凸部の形成予定位置に隣接する位置に照射する照射エネルギーに対して、凸部の形成予定位置に照射する照射エネルギーを少なくする。そして、上記セラミック積層体の外周面からの凸部の加工深さを、周辺の隣接部分の加工深さよりも浅くすることにより、凸部を相対的に突出させることができる。

。なお、凸部に照射する照射エネルギーをゼロとして、凸部の加工深さをゼロとしても良い。

上記の照射エネルギー ($W \cdot s$) を変更する方法としては、例えば、単位時間当たりのレーザビームの出力 (W) を変更する方法や、レーザビームの照射時間 (s) を変更する方法などがある。

例えば、デューティ制御されたレーザビームの照射時間と非照射時間との比率であるデューティ比の変更や、レーザ発振器等から発射されるレーザビームのビーム強度の変更等により、単位時間当たりのレーザビームの出力 (W) を変更することができる。

また、レーザビームの照射時間 (s) を変更するには、例えば、セラミック積層体におけるレーザビームの照射予定位置を略一定速度で移動させる一方、オンオフ制御されたレーザビームをパルス状に照射することにより、照射時間ゼロの位置と、照射時間がゼロを超える位置とを分布させることができる。

また、略一定出力のレーザビームを連続的に照射する一方、セラミック積層体におけるレーザビームの照射位置の移動速度を加減速することにより、照射時間を変更することもできる。すなわち、移動速度を速くすれば照射時間を短くでき、遅くすれば照射時間を長くできる。

さらに、レーザビームの照射位置をステップ状に移動させて、離散的に分布する各位置にレーザビームを照射しても良い。この場合には、離散的に分布する各位置にレーザビームを照射する一方、それ以外の位置への照射時間をゼロにできる。また、レーザビームの照射位置ごとに、レーザビームの照射時間 (s) を変更することもできる。

ここで、レーザビームのビームスポットにおける出力分布は、完全な均一ではなく、正規分布やガウス分布等の分布を呈している。そのため、レーザビームを1箇所照射した際に形成される加工穴の断面形状は、完全な矩形状を呈するわけではなく、開口側に向けて広がる傾斜面よりなる、いわばすり鉢形状を呈する。

したがって、接近する2箇所にレーザビームを照射して、それぞれ加工穴を形成した場合には、隣接する加工穴の傾斜面が相互に交錯して重なり合い単一の窪

み部が形成される。このとき、隣接する加工穴の中間に、加工深さの浅い上記凸部を形成できる。

一方、レーザビームの照射位置をある程度離していくと、各加工穴を独立配置できる。この場合には、隣り合う加工穴の間に加工深さゼロ、すなわちセラミック積層体の外周面よりなる上記凸部を形成できる。

さらに、内部電極層の外周端部に接するように伸びる加工溝を、セラミック積層体の積層方向に2本以上並設することも良い。この場合には、隣り合う溝と溝との間に伸びる上記凸部を形成できる。

溝と溝との隣接関係は、上記の加工穴同士の隣接関係と同様である。重なり合うよう隣接させても良く、独立して並設しても良い。

なお、セラミック積層体の積層方向に並設された加工溝と加工穴とを組み合わせさせて上記外周溝状部を形成することもできる。

また、上記溝形成工程では、上記内部電極層の外周端部に沿ってジグザグ状にレーザビームの照射位置を移動することにより、ジグザグ状に伸びる帯状の上記窪み部を形成して、該窪み部の屈曲する部分に上記セラミック積層体の積層方向に突出する上記凸部を形成するようレーザビームを照射することも良い。

この場合には、ジグザグ状に屈曲しながら周方向に伸びる帯状の上記外周溝状部を形成することができる。そして、ジグザグ状の上記窪み部の屈曲する部分に、セラミック積層体の積層方向に突出する凸部を形成できる。

また、上記溝形成工程では、上記セラミック積層体の外周面の法線方向に突出する上記凸部の形成予定位置に隣接する位置に照射する照射エネルギーに対して、該凸部の形成予定位置に照射する照射エネルギーを小さくするようレーザビームを照射する方法と、上記内部電極層の外周端部に沿ってジグザグ状にレーザビームの照射位置を移動することにより、ジグザグ状に伸びる帯状の上記窪み部を形成して、該窪み部の屈曲する部分に上記セラミック積層体の積層方向に突出する上記凸部を形成するようレーザビームを照射する方法とを組み合わせ、上記凸部を形成するようレーザビームを照射することも良い。

この場合には、上記外周溝状部の上記凸部及び上記窪み部の形状を、さらに複雑な形状にすることができる。

そして、上記埋設工程において、上記外周溝状部に対して、上記絶縁部又は上記導電部をさらに強固に形成することができる。

また、上記セラミック積層体の上記内部電極層に沿ってレーザビームの照射予定位置を連続的に移動しながら、レーザビームの照射と非照射とを繰り返すオンオフ制御により、上記内部電極層に沿って分布する離散的な位置にレーザビームを照射することが好ましい。

この場合には、上記外周溝状部における上記凸部を容易に、効率良く形成することができる。すなわち、セラミック積層体の外周面におけるレーザビームの照射予定位置を移動させながらレーザビームのオンオフ制御を行うだけで、移動方向に沿って分布する離散位置に複数の加工穴を穿設することができる。

なお、上記内部電極層に沿って分布する離散位置に対して、レーザビームを照射する位置をその都度固定して、レーザビームを連続的に照射することもできる。この場合にも、前述によるレーザビーム照射により形成される上記外周溝状部とほぼ同様の外周溝状部を形成することができる。

また、上記レーザビームは、CO₂ レーザによるビームであることが好ましい。

この場合には、レーザビームの広がり角を少なくして集光性を高めることができ、高いエネルギー密度のレーザビームにより精度の高いレーザ加工を、効率良く実施することができる。

また、高出力に達するまでの励起時間が極めて短いという特徴を活かして、高精度なデューティ制御やオンオフ制御等を実施することができる。

また、上記レーザビームの波長は、157nm以上10600nm以下であることが好ましい。

上記の波長帯域にあるレーザビームは、内部電極層などの金属表面に対する反射率が高い。したがって、上記レーザビームを利用して上記窪み部を加工する場合には、上記セラミック層に対する加工深さを、上記内部電極層に対する加工深さよりも深くできる。

そのため、上記レーザビームによれば、底面から上記内部電極層の外周端部が突出するよう、上記窪み部を形成することができる。

さらに、上記波長帯域にあるレーザビームによれば、そのレーザビーム径を小

さくでき、微細な溝加工を実施することができる。

そのため、例えば、上記セラミック積層体における上記セラミック層の厚さが、 $40\mu\text{m}$ 以上 $120\mu\text{m}$ 以下であるような場合には、上記波長帯域のレーザービームを使用する作用効果が特に有効となる。

なお、上記波長帯域にあるレーザービームとしては、例えば、非線形光学結晶を透過させることで、YAGレーザー発振器が発光する近赤外レーザー光の波長を変換したUVレーザーや、希ガスや、希ガスとハロゲンガスの混合ガスを励起して発振させる気体レーザーであるエキシマレーザーなどを利用することができる。

また、上記レーザービームによる照射スポット径は、 $120\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

この場合には、高いエネルギー密度を有するレーザービームを実現できると共に、薄い層状の内部電極層が露出するセラミック積層体の外周面に対して、適切にレーザー加工を施すことができる。

また、上記溝形成工程では、上記レーザービームを照射して上記窪み部を形成した後に、上記セラミック積層体の安定化焼成を実施することが好ましい。

一般に、上記セラミック層に対して上記レーザービームを照射すると、レーザー照射時の発熱等により上記セラミック層が変質するおそれがある。例えば、上記セラミック層をなす成分が半導体化して電気抵抗が低下するおそれがある。このような変質は、特に、上記セラミック層の外表面において生じやすい。そのため、レーザー加工を施した上記セラミック積層体では、その外表面の電氣的な絶縁性が低下し、電氣的なリークが生じるおそれがある。

そこで、上記のごとくレーザービームを照射した後に上記安定化焼成を実施する場合には、上記セラミック層を酸化させて再安定化でき、電氣的な絶縁性を高めることができる。

そのため、上記レーザービーム照射後に上記安定化焼成を施して製造した上記積層型圧電素子は、上記セラミック積層体の外表面に沿って電氣的リークの生じるおそれがない電氣的信頼性に優れたものとなる。

(実施例1)

本例の積層型圧電素子1の製造方法について、図1～図10を用いて説明する。

本例は、図9に示すごとく、セラミック層11と内部電極層12とを交互に積層してなるセラミック積層体10と、該セラミック積層体10の外周面に形成した一对の接合面15それぞれに接合した一对の外部電極18とを有する積層型圧電素子1に関する。

図9及び図10に示すごとく、セラミック積層体10の外周面のうち少なくとも接合面15には、少なくとも一部の内部電極層12の外周端部127に接する外周溝状部120を形成してある。

この外周溝状部120は、セラミック積層体10の外周面から内方へ凹む少なくとも1つ以上の窪み部122を有している。そして、外周溝状部120は、該窪み部122自体の形状又は複数の窪み部122を連ねた形状が帯状を呈している。また、外周溝状部120は、窪み部122の内部において周囲から相対的に突出する少なくとも1カ所以上の凸部121又は、隣り合う窪み部122の間に隣接して配置されて該窪み部122から相対的に突出する凸部121を有している。

そして、この外周溝状部120には、図9及び図10に示すごとく、絶縁材料からなる絶縁部181又は導電材料よりなる導電部183の少なくともいずれか一方を、窪み部122を埋めて凸部121を被うように形成してある。

以下、この内容について詳しく説明する。

本例で製造する積層型圧電素子1は、図9に示すごとく、セラミック材料からなる厚さ80 μ mのセラミック層11と、積層面全面に形成した厚さ4 μ mの内部電極層12とを交互に300層積層してなるセラミック積層体10からなる。そして、該セラミック積層体10の外周面における一对の接合面15には、一对の外部電極18が接合してある。

そして、セラミック積層体10の各内部電極層12の外周端部127には、図7に示すごとく、セラミック積層体10の外周面から内方に凹む窪み部122を含む外周溝状部120を当接させてある。

窪み部122は、図10に示すごとく、セラミック積層体10の外周面からの深さが一定ではない。そのため、外周溝状部120には、周囲から相対的に突出する凸部121が形成されている。

セラミック積層体10の接合面15を除く外周面に形成された外周溝状部120には

、図10に示すごとく、絶縁材料よりなる絶縁部181を形成してある。

また、接合面15に形成された外周溝状部120には、図9に示すごとく、絶縁部181と導電材料よりなる導電部183とを1層ごとに交互に形成してある。

そして、一方の接合面15において絶縁部181を形成した外周溝状部120には、図9に示すごとく、他方の接合面15において導電部183を形成してあり、かつ、一方の接合面15において導電部183を形成した外周溝状部120には、他方の接合面15において絶縁部181を形成してある。

なお、本例の積層型圧電素子1では、上記導電部183としては、焼付け銀よりなる焼付け電極を用いた。

なお、本例のセラミック積層体10は、図5に示すごとく、その軸方向に平行であって対向する平面である接合面15を有しており、その断面形状は樽形を呈している。セラミック積層体10の断面形状としては、樽形に限定されるものではなく、用途、使用状況に合わせて四角形などの多角形等に変更可能である。

そして、本例において上記積層型圧電素子1を製造するに当たっては、図1、図2に示すごとく、印刷装置3と、打抜き積層装置2と、図示しない焼成炉とデイスペンサ装置とを含む製造装置を用いた。さらに、焼成後のセラミック積層体10の外周面に外周溝状部120を形成するに当たっては、図6に示すごとく、CO₂レーザー加工機4を用いた。

本例の積層型圧電素子1を製造するに当たっては、まず、セラミック積層体10を作製する。このセラミック積層体10を作製する積層体形成工程は、グリーンシート作製工程と、印刷工程と、打抜き工程と、積層工程と、焼成工程とからなる。

なお、本例の工程に使用する打抜き積層装置2は、図2に示すごとく、打ち抜き工程と積層工程とを同時に実施できるよう構成した装置である。

まず、グリーンシート作製工程では、図1に示すごとく、圧電素子材料であるグリーンシート用のスラリーからグリーンシート100を作製する。

ここで、このスラリーは、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) などの圧電セラミックスになるセラミック原料にバインダーと微量の可塑剤及び消泡剤を添加した後、有機溶媒中に分散させたものである。

本例では、上記のスラリーを、ドクターブレード法によって図示しないキャリアフィルム上に塗布し、厚さ100 μ mのグリーンシート100を生成した。なお、スラリーからグリーンシート100を生成する方法としてはドクターブレード法の他、押出成形法その他種々の方法を探ることができる。

次に、印刷工程では、図1に示すごとく、グリーンシート100における積層面101となる領域全面に、スクリーン印刷用のシルク板106を用いて、焼成により上記内部電極層12となるAg-Pdペーストを塗布して、電極用印刷パターン102を形成する。

なお、本例では、さらに、シート片210を積層するための接着材として、グリーンシート100を構成した上記セラミック材料と略同一組成のセラミック材料を含有するスラリーを積層面101全面に塗布し、接着層110（図4参照）を形成してある。

次に、上記打抜き積層装置2を用いて、シート片210の打ち抜きと積層とを並行して実施する。ここでは、図2～図4に示すごとく、グリーンシート100からシート片210を打ち抜き、このシート片210を順次、積層して中間体25を作製する。

ここで、本例の打抜き積層装置2の構成及び動作について説明する。上記のごとく、打抜き積層装置2は、図2に示すごとく、シート片210の打ち抜きと、積層とを並行して実施できるよう構成された装置である。

この打抜き積層装置2は、内部に積層穴22を有する中空構造の積層ホルダ29と、図示しない油圧シリンダにより積層ホルダ29に向けてストロークするパンチ21とを有している。

また、積層ホルダ29の積層穴22内には、下端面に開口する吸着孔からなる吸着機構（図示略）を有するガイド26を配置してある。そして、このガイド26の吸着機構により、積層穴22の内部で積層した中間体25を吸着保持できるように構成してある。

このように構成された打抜き積層装置2により中間体25を作製するに当たっては、まず、グリーンシート100を所定量送って、パンチ21の打ち抜き位置に電極用印刷パターン102を合致させる。

その後、押さえ板27でグリーンシート100を押さえながら、パンチ21を積層ホルダ29に向けてストロークさせる。そして、パンチ21を、押さえ板27の貫通穴270に貫通させ、積層穴22に挿入する。このようにしてシート片210を打ち抜き、該シート片210を積層穴22内部において積層していくという一連動作を繰り返し実施する。

この一連動作における最初の打ち抜きでは、シート片210は、ガイド26の吸着機構によりその上面に吸着され、積層穴22内に収容される。

さらに、グリーンシート100における電極用印刷パターン102を有するシート片210を、上記一連動作により順次打ち抜いていく。打ち抜かれたシート片210は、その表面に形成された接着層110（図4参照）により次々に接着されて積層されて中間体25の一層をなす。

このとき、積層ホルダ29は、中間体25の下端面を吸着保持しながら、中間体25の長さに応じて徐々に下降する。そのため、打ち抜き積層装置2における中間体25の上端面の位置は略一定し、新たに打ち抜いたシート片210を一定の加圧力により接着できるように構成されている。

そして、この一連動作における最後の打ち抜きでは、電極用印刷パターン102を形成してないグリーンシート片を打ち抜き、中間体25の上端面に積層する。

本例では、上記の一連動作により、図4に示すごとく、300枚のシート片210を積層した中間体25を作製した。

次に、焼成工程において、この中間体25を焼成して焼成体（図示略）を作製する。本例の焼成工程では、図示しない焼成炉により実施し、炉内温度1200℃を2時間保持して焼成した後、炉冷を実施した。

ここで、シート片210の表面に印刷したAg-Pdペーストは、焼成されて上記内部電極層12を形成する。

そして、本例では、さらに、上記焼成体の外周面に機械加工を施した。ここでは、図示しない機械加工装置により、図5に示すごとく、上記焼成体の外周面を調整した後、外周面における対向する2カ所の側面に平面加工を施し、接合面15を有するセラミック積層体10を作製した。

本例では、上記の平面加工として、セラミック積層体10の対向する側面を100

μm 研磨し、外部電極18を接合するための接合面19を形成してある。

なお、上記の断面構形状を呈するセラミック積層体10を作製するには、予め、構形状に切り抜いたシート片を積層することもできる。この場合には、本例の接合面15を形成するための平面加工を省略でき、さらに効率良く積層型圧電素子を作製することができる。

次に、図6に示すごとく、セラミック積層体10の外周面にレーザビームを照射するレーザ加工による溝形成工程を実施する。この工程では、セラミック積層体の外周面に露出する各内部電極層12に沿ってレーザビームを照射して上記窪み部122を穿設し、外周溝状部120を形成する。

ここで、本例で使用したレーザ加工機4の構成及び動作について説明しておく。

このレーザ加工機4は、図6に示すごとく、波長 $10.6\mu\text{m}$ の赤外線レーザビームを発射する CO_2 レーザ発振器41と、レーザビームを広げるビームエキスパンダ42と、ビーム方向を制御する2基のガルバノメータ43と、レーザビームを集光する集光レンズ44とからなる。

また、図示しない載置台は、該載置台に載置したセラミック積層体10を、軸芯回りに回転させる回転機構を有しており、セラミック積層体10を回転自在に保持するよう構成してある。

特に、本例の CO_2 レーザ発振器41は、RF励起拡散冷却スラブ型のレーザ発振器である。この CO_2 レーザ発振器41は、出力の立ち上がりが非常に高速であるという特徴を備えている。

集光レンズ44は、 CO_2 レーザ発振器41から発射されたレーザビームを、直径 $40\mu\text{m}$ のビームスポットに集光できるように構成してある。

また、2基のガルバノメータ43は、略直交する2軸方向にレーザビームの照射位置を移動できるよう構成してある。

本例では、セラミック積層体10の外周面にレーザビームを照射するに当たって、載置台の上記回転機構によりセラミック積層体10を回転制御すると共に、ガルバノメータ43によりレーザビーム方向を変更して、セラミック積層体10の外周面の各位置を加工できるように構成してある。

なお、レーザ加工機4は、レーザ照射箇所アシストガスとしてエアーを吹き付けながら上記レーザ加工を実施できるよう構成してある。

ここでは、セラミック積層体10の外周面に沿ってレーザビームの照射位置を周回移動させながら、オンオフ制御されたCO₂レーザ発振器41を用いて、パルス状のレーザビームを一定のサイクル周期で照射する。そして、1ショットのレーザビーム照射により加工穴123を1個ずつ形成した。

本例では、セラミック積層体10の外周を1周する間に、上記オンオフ制御のサイクルが760回実施されるように照射位置の移動速度を設定した。そして、1サイクル中1ショットのレーザビームにより、セラミック積層体10の外周面からすり鉢状に凹む加工穴123を内部電極層12に沿って760個形成した。

ここで、本例では、極めて短期間に出力が立ち上がるCO₂レーザの特徴を活かして、サイクル周期中のレーザビーム照射時間の比率を1%という低い割合に設定してある。それ故、穿設された加工穴123は、周方向のぼけが少なく位置精度が高い。

上記の溝形成工程によれば、図10に示すごとく、隣り合う加工穴123は、周縁部において互いに重合し、一体の窪み部122を形成する。そして、隣接する加工穴123の間には、加工穴123よりも浅い凸部121が形成されている。すなわち、内部電極層12の外周には、凸部121が繰り返し現れる外周溝状部120が形成される。

なお、本例のオンオフ制御に代えて、デューティー制御されたレーザビームにより本例の外周溝状部120を形成することもできる。

ここでは、上記オンオフ制御のサイクル周期よりも十分高速なデューティー周波数により、レーザビームをデューティー制御する。そして、上記オンオフ制御と略同一のサイクル周期により、レーザビームのデューティー比をステップ状に変更する。レーザビームの上記1ショット期間に対応して所定値のデューティー比を設定し、それ以外の期間ではデューティー比をゼロに設定する。

すなわち、デューティー制御では、上記オンオフ制御における1ショットのレーザビームを照射する期間内に、複数のパルス状のレーザビームを照射する。

また、デューティー制御上のデューティー比を滑らかに変動することも良い。

この場合には、内部電極層12の外周に沿ってレーザビームの照射エネルギーを滑らかに変動させて、外周面からの深さが滑らかに増減する上記外周溝状部を形成することができる。

さらに、上記のごとく外周溝状部120を形成したセラミック積層体10を用いて積層型圧電素子1を完成するに当たっては、図10に示すごとく、外周溝状部120に絶縁部181及び導電部183を形成する埋設工程を実施した後、セラミック積層体10の各接合面15に一对の外部電極18を接合する。

なお、本例では、外周溝状部120の窪み部122を埋めて、さらに凸部121を被うように上記絶縁部181及び導電部183を形成した。

この埋設工程では、まず、図9に示すごとく、セラミック積層体10の接合面15を除く外周面の外周溝状部120と、接合面15の1層おきの外周溝状部120とに、絶縁材料よりなる絶縁部181を形成し、セラミック積層体10の外周の絶縁性を確保する。

なお、本例では、一方の接合面15において絶縁部181を形成した外周溝状部120には、他方の接合面15に絶縁部181を形成せず、一方の接合面15において絶縁部181を形成してない外周溝状部120には、他方の接合面15に絶縁部181を形成してある。

さらに、各接合面15における、絶縁部181を形成してない1層おきの外周溝状部120内には、焼付け銀よりなる焼付け電極である導電部183を形成した。

なお、上記導電部183を形成した後、絶縁部181を形成する外周溝状部120を形成し、該外周溝状部120に絶縁部181を形成するのも良い。この場合には、導電部183の焼付け電極を形成する際の高温により、上記絶縁部181を形成する外周溝状部120に歪み等を生じるおそれがない。

上記絶縁部181の形成は、図示しないディスペンサ装置により実施した。このディスペンサ装置は、位置制御されたディスペンスノズルから、一定量の液状の絶縁材料を吐出できるよう構成されている。

本例では、このディスペンサ装置を用いて、シリコーンポッティング剤よりなる絶縁材料（例えば、株式会社スリーボンド製スリーボンド1230）よりなる絶縁部181を形成した。

なお、絶縁材料としては、その他、樹脂、ガラス、セラミック等を適用することができる。

さらに、本例のディスペンサ装置に代えて、インクジェットによって絶縁材料等を塗布するプリンタ装置、タッチペンによって絶縁材料を塗布するプロッタ装置等を用いることも可能である。

また、外周溝状部120内の焼付け電極183の形成は、ディスペンサ装置により塗布することにより形成した。

さらに、図10に示すごとく、セラミック積層体10の接合面15に、焼付け電極183を介して外部電極18を接合し、1層おきの内部電極層12と外部電極18とを電気的に接続した積層型圧電素子1を作製する。

このように、本例の積層型圧電素子1を構成するセラミック積層体10では、内部電極層12の外周端部127に接するように上記外周溝状部120を形成してある。

そして、接合面15における、1層おきの内部電極層12に絶縁部181を形成してあると共に、絶縁部181を形成してない1層おきの内部電極12には焼付け電極よりなる導電部183を接合してある。さらに、セラミック積層体10における、接合面15を除く外周面の外周溝状部120には、絶縁部181を形成してある。

この積層型圧電素子1では、セラミック積層体10の外周に導電部183及び絶縁部181がくさび状に食い込んでいる。そのため、セラミック積層体10と、導電部183あるいは絶縁部181との接触面積とを増加すると同時に、いわゆるくさび効果により両者の接合強度を向上している。

また、上記のごとく、外周溝状部120には、周囲から相対的に突出する上記凸部121を複数形成してある。

そのため、外周溝状部120に形成した絶縁部181及び導電部183に対して、凸部121がくさび状に食い込むような状態になる。それ故、絶縁部181及び導電部183は、凸部121の奏するくさび効果によって一層強固に接合される。

さらに上記のごとく、外周溝状部120の表面は、起伏に富む屈曲面を呈している。そして、外周溝状部120の表面に沿って形成された絶縁部181及び導電部183の接触表面には屈曲面が形成される。

そのため、積層型圧電素子1の伸縮動作により絶縁部181及び導電部183に生じ

る応力は、該絶縁部181又は導電部183の接触表面上の一点に集中するおそれが少なく、屈曲面たる接触表面上で分散されることとなる。それ故、上記外周溝状部120内に形成した絶縁部181及び導電部183にあっては、亀裂等のトラブルを生じるおそれが少ない。

以上のごとく、本例の積層型圧電素子1は、長期間の使用に渡って、内部電極層12に配設した絶縁部181及び導電部183の剥離等を生じるおそれが少なく、内部の電氣的リークを生じるおそれが少ない。

なお、本例では、隣り合う上記加工穴123が隣接して一体の窪み部122をなすよう外周溝状部120を形成したが、これに代えて、図11に示すごとく、内部電極層12に沿って独立した加工穴123を複数穿設し、独立した複数の窪み部122を含む外周溝状部120を形成しても良い。この場合には、窪み部122と窪み部122との間のセラミック積層体10の外周面が、上記凸部121を形成することになる。

また、図12に示すごとく、セラミック積層体10の外周面のうち接合面15のみに、上記外周溝状部120を形成することもできる。

さらに、同図に示す外周溝状部120に代えて、図13に示すごとく、セラミック積層体10の外周面におけるレーザビームの照射位置を、内部電極層12を中心として積層方向に変動させてジグザグ状に伸びる外周溝状部120を形成しても良い。

この場合には、セラミック積層体10の積層方向に向かって突出する凸部121を形成することができる。

またさらに、レーザビームの照射位置を積層方向に変動させると共に、照射エネルギーを変動させることもできる。この場合には、さらに複雑な屈曲面を有する隣接外表面からなる外周溝状部を形成することができる。

(実施例2)

本例は、実施例1における上記セラミック積層体の接合面における、外周溝状部の配置を変更した例である。

本例の積層型圧電素子1を構成したセラミック積層体10においては、図14に示すごとく、接合面15における外周溝状部120を、1層おきの内部電極層12の外周端部127に接するように形成してある。

そして、同図に示すごとく、一方の接合面15において外周溝状部120を形成し

た内部電極層12には、他方の接合面15において外周溝状部120を形成せず、一方の接合面15において外周溝状部120を形成してない内部電極層12には、他方の接合面15において外周溝状部120を形成した。

なお、セラミック積層体10における、接合面15を除く外周面には実施例1と同様、各内部電極層12に沿って外周溝状部120を形成してある。

そして、図15及び図16に示すごとく、セラミック積層体10の外周面における全ての外周溝状部120には、絶縁部181を形成してある。また、接合面15における、絶縁部181を形成してない内部電極層12に対しては、外周面に導電部183として焼付け電極を接合してある。

なお、その他の構成及び作用効果については、実施例1と同様である。

また、セラミック積層体10の接合面15に外部電極18を接合するに当たっては、焼き付け電極を介設することなく、Pb, Ag-Pb, Cu等の導電性接着剤により外部電極18を接合することもできる。

さらに、図17に示すごとく、セラミック積層体10の接合面15にのみ、外周溝状部120を形成することもできる。

(実施例3)

本例は、実施例1における、上記絶縁部を形成した上記外周溝状部の断面形状を変更した例である。

本例の導電部183を形成した外周溝状部128の断面形状は、図18に示すごとく、底部から内部電極層12が突出する凸形状を呈している。そして、この内部電極層12が上記凸部121をなしている。

この外周溝状部128を形成するに当たっては、対応する内部電極層12の軸方向位置を中心としてオフセットする2カ所の軸方向位置に、それぞれレーザビームを照射して、略平行な2本の溝状の窪み部129を形成する。

なお、この窪み部129を形成するに当たっては、出力(W)を略一定に制御したレーザビームの照射位置を、セラミック積層体10の外周に沿って略一定の速度で移動する。

ここで、上記のオフセット量は、図18に示すごとく、隣接する2本の溝状の窪み部129が、セラミック積層体10の軸方向に重ならないように設定する。本例で

は、外周溝状部128の底部から突出する内部電極層の突出量 d_1 が、導電隣接部の深さ t と略一致するように2本の窪み部129を形成した。

このように、本例の外周溝状部128の断面形状は、図19及び図20に示すごとく、底部から内部電極層12が突出する凸形状を呈している。そのため、外周溝状部128内に形成された導電部183に対しては、凸部121としての内部電極層12が食い込む状態を呈する。それ故、凸部121のくさび効果により、本例の導電部183は高い接合強度を発揮する。

また、内部電極層12と導電部183とを広い接触面により接触させることにより、両者間の接触抵抗を抑制できる。

なお、その他の構成及び作用効果については、実施例1と同様である。

また、上記各窪み部129を形成する際、実施例1と同様、レーザビームを照射する出力(W)を変動させて、その深さを増減させることも良い。

さらに、本例のセラミック積層体10において、図21及び図22に示すごとく、絶縁部181と導電部183との配置を入れ替えることもできる。この場合には、絶縁部181の接合強度を高めて、積層型圧電素子1の絶縁性をさらに向上できる。

(実施例4)

本例は、実施例1における上記窪み部を、波長355nmのUVレーザを用いて形成した例である。この内容について、図23～26を用いて説明する。

本例で使用したUVレーザ加工機(図示略)は、非線形光学結晶を透過させることにより、YAGレーザ発振器から発光する近赤外レーザ光の波長を変換(本例では、1064nmから355nmに変換している。)するように構成した点を除いて、実施例1の上記レーザ加工機とほぼ同様に構成してある。

本例では、UVレーザ加工機を用いて、直径20 μm に集光したビームスポットを上記セラミック積層体の外表面に照射して上記窪み部を形成した。

ここで、上記355nmという短波長のレーザビームは、図23に示すごとく、内部電極層12を含む金属表面に対する反射率が高いという特性を有している。

したがって、上記レーザビームを利用して上記窪み部122を加工する場合には、セラミック層11に対する加工深さを、内部電極層12に対する加工深さよりも深くできる。

そのため、上記レーザビームによれば、図24に示すごとく、底面126から内部電極層12の外周端部127が突出するよう、窪み部122を形成することができる。

特に、本例では、レーザビームの照射条件を実験的に調節し、図24に示すごとく、上記外周端部127の突出量 p が内部電極層12の厚さ t の2倍となるようにしてある。

このように外周端部127を突出させた窪み部122によれば、図25に示すごとく、導電部183を強固に保持させることができる。窪み部122を埋める導電部183に対して、窪み部122の底面126（図24）から突出する外周端部127がくさび効果（アンカー効果）を奏するからである。

同様に、本例の窪み部122によれば、図26に示すごとく、絶縁部181を強固に保持することができる。上記と同様に、窪み部122を埋める絶縁部181に対して、上記外周端部127がアンカー効果を奏するからである。

そして、上記セラミック積層体10の外表面に、上記絶縁部181及び上記導電部183を強固に保持した積層型圧電素子1は、電氣的リークを生じるおそれの少ない電氣的信頼性に優れたものとなる。

なお、その他の作用効果については実施例1と同様である。

さらに、なお、本例のUVレーザに代えて、希ガスや、希ガスとハロゲンガスの混合ガスを励起して発振させる気体レーザであるエキシマレーザ等を適用することもできる。

なお、本発明について特定の実施形態に基づいて詳述しているが、当業者であれば、本発明の請求の範囲及び思想から逸脱することなく、様々の変更、修正等が可能である。

請求の範囲

1. セラミック層と内部電極層とを交互に積層してなるセラミック積層体と、該セラミック積層体の外周面に形成した一对の接合面それぞれに接合した一对の外部電極とを有する積層型圧電素子において、

上記セラミック積層体の外周面のうち少なくとも上記接合面には、少なくとも一部の上記内部電極層の外周端部に接する外周溝状部を形成してあり、

該外周溝状部は、上記セラミック積層体の外周面から内方へ凹む少なくとも1つ以上の窪み部を有し、該窪み部自体の形状又は複数の上記窪み部を連ねた形状が帯状を呈していると共に、該窪み部の内部において周囲から相対的に突出する少なくとも1カ所以上の凸部又は、隣り合う上記窪み部の間に隣接して配置されて該窪み部から相対的に突出する凸部を有しており、

上記外周溝状部には、絶縁材料からなる絶縁部又は導電材料よりなる導電部の少なくともいずれか一方を、上記窪み部を埋めて上記凸部を被うように形成してある積層型圧電素子。

2. 請求項1において、上記外周溝状部は、上記各接合面の1層おきの上記内部電極層の上記外周端部に接するよう形成してあり、

一方の上記接合面において上記外周溝状部を形成した上記内部電極層には、他方の上記接合面において上記外周溝状部を形成せず、かつ、一方の上記接合面において上記外周溝状部を形成してない上記内部電極層には、他方の上記接合面において上記外周溝状部を形成してあり、

該外周溝状部には、上記絶縁部を形成してある積層型圧電素子。

3. 請求項1において、上記外周溝状部は、上記接合面の全ての上記内部電極層の上記外周端部に接するよう形成してあり、

上記各接合面に形成された上記外周溝状部には、上記絶縁部と上記導電部とを1層ごとに交互に形成してあると共に、

一方の上記接合面において上記絶縁部に接する上記内部電極層は、他方の接合面において上記導電部に接しており、かつ、一方の接合面において上記導電部に接する上記内部電極層は、他方の接合面において上記絶縁部に接している積層型圧電素子。

4. 請求項1において、上記セラミック積層体の上記接合面を除く外周面には、その全面に渡って、全ての上記内部電極層の上記外周端部に接する上記外周溝状部を形成してあり、

該外周溝状部には、上記絶縁部を形成してある積層型圧電素子。

5. 請求項1において、上記窪み部は、深くなるにつれて縮径するすり鉢状の加工穴を複数穿設すると共に、隣り合う上記加工穴の周縁部を重合させて形成したものであり、隣り合う上記加工穴の間に相対的に突出する上記凸部が形成されている積層型圧電素子。

6. 請求項1において、上記窪み部は、深くなるにつれて縮径するすり鉢状を呈していると共に、帯状に並ぶ離散的な位置に複数形成されており、独立して配置されて隣り合う上記窪み部の間には相対的に突出する上記凸部が形成されている積層型圧電素子。

7. 請求項1において、上記窪み部の底面においては、上記内部電極層の外周端部が外方に向けて突出している積層型圧電素子。

8. 請求項7において、上記内部電極層の外周端部の突出量は、上記内部電極層の厚さ以上である積層型圧電素子。

9. セラミック層と内部電極層とを交互に積層してなるセラミック積層体と、該セラミック積層体の外周面に形成した一对の接合面それぞれに接合した一对の外部電極とを有する積層型圧電素子の製造方法において、

上記セラミック積層体を形成する積層体形成工程と、

該セラミック積層体の外周面のうち少なくとも上記接合面にレーザビームを照射することにより、少なくとも一部の上記内部電極層の外周端部に接する窪み部を穿設して、該窪み部自体の形状又は複数の上記窪み部を連ねた形状が帯状を呈する外周溝状部を形成する溝形成工程と、

上記外周溝状部には、絶縁材料からなる絶縁部又は導電材料よりなる導電部の少なくともいずれか一方を形成する埋設工程とを有する積層型圧電素子の製造方法。

10. 請求項9において、上記溝形成工程では、上記レーザビームの照射状態を調節することにより、上記窪み部の内部において周囲から相対的に突出する少な

くとも1カ所以上の凸部又は、隣り合う上記窪み部の間において配置されて該窪み部から相対的に突出する少なくとも1カ所以上の凸部を有する上記外周溝状部を形成し、

上記埋設工程では、絶縁材料からなる絶縁部又は導電材料よりなる導電部の少なくともいずれか一方を上記外周溝状部に形成することにより、上記窪み部を埋め、上記凸部を被覆する積層型圧電素子の製造方法。

11. 請求項10において、上記溝形成工程では、上記セラミック積層体の外周面の法線方向に突出する上記凸部の形成予定位置に隣接する位置に照射する照射エネルギーに対して、該凸部の形成予定位置に照射する照射エネルギーを小さくするようレーザビームを照射する積層型圧電素子の製造方法。

12. 請求項10において、上記溝形成工程では、上記内部電極層の外周端部に沿ってジグザグ状にレーザビームの照射位置を移動することにより、ジグザグ状に伸びる帯状の上記窪み部を形成して、該窪み部の屈曲する部分に上記セラミック積層体の積層方向に突出する上記凸部を形成するようレーザビームを照射する積層型圧電素子の製造方法。

13. 請求項10において、上記溝形成工程では、上記セラミック積層体の外周面の法線方向に突出する上記凸部の形成予定位置に隣接する位置に照射する照射エネルギーに対して、該凸部の形成予定位置に照射する照射エネルギーを小さくするようレーザビームを照射する方法と、上記内部電極層の外周端部に沿ってジグザグ状にレーザビームの照射位置を移動することにより、ジグザグ状に伸びる帯状の上記窪み部を形成して、該窪み部の屈曲する部分に上記セラミック積層体の積層方向に突出する上記凸部を形成するようレーザビームを照射する方法とを組み合わせて、上記凸部を形成するようレーザビームを照射する積層型圧電素子の製造方法。

14. 請求項10において、上記セラミック積層体の上記内部電極層に沿ってレーザビームの照射予定位置を連続的に移動しながら、レーザビームの照射と非照射とを繰り返すオンオフ制御により、上記内部電極層に沿って分布する離散的な位置にレーザビームを照射する積層型圧電素子の製造方法。

15. 請求項11において、上記レーザビームは、CO₂レーザによるビームである

積層型圧電素子の製造方法。

16. 請求項11において、上記レーザービームの波長は、157nm以上10600nm以下である積層型圧電素子の製造方法。

17. 請求項11において、上記レーザービームによる照射スポット径は、120 μ m以下である積層型圧電体素子。

18. 請求項11において、上記溝形成工程では、上記レーザービームを照射して上記窪み部を形成した後に、上記セラミック積層体の安定化焼成を実施する積層型圧電素子。

要 約 書

セラミック層と内部電極層 (12) とを交互に積層してなるセラミック積層体 (10) と、該セラミック積層体 (10) の外周面に形成した一对の接合面 (15) それぞれに接合した一对の外部電極 (18) とを有する積層型圧電素子 (1) である。セラミック積層体 (10) の外周面には、少なくとも一部の内部電極層 (12) の外周端部 (127) に接する帯状の外周溝状部 (120) を形成してある。この外周溝状部 (120) は、隣接する部分から相対的に突出する少なくとも1カ所以上の凸部 (121) を有している。そして、この外周溝状部 (120) には、絶縁材料からなる絶縁部 (181) 又は導電材料よりなる導電部 (183) の少なくともいずれか一方を配設してある。